量測噴藥飄積現象的方法與技術

原作者：R. D. Fox, R. C. Derksen, R. D. Brazee, and H. E. Ozkan
譯稿人：興大農機系欒家敏教授

摘要

施噴霧粒大小、霧粒釋放高度、風速和其他因子影響噴藥飄積。量測飄積的標準或指導原則已由美國環保署、美國農工學會、噴藥飄積特遣組織（Spray Drift Task Force）及德國 Braunschweig 聯邦生物研究中心訂定。許多型式的噴霧收集器被使用過。地面沈積收集器包括：濾紙、阿法纖維質紙、水試紙、玻片、多樣的塑膠片、及金屬片水平放置。滯空式噴霧（airborne spray）收集器包括：垂直吊掛的紙張或其他平板收集器、細繩、塑膠塑刷（plastic pot scrubbers）管子清潔器、捲髮器、和空氣採樣過濾器等。數種追蹤器曾被用來模擬施噴過的殺蟲劑。這些包括：金屬鹽、螢光劑、殺蟲劑、或食用色素。地面噴桿噴藥機具，果園鼓風式噴霧機和空中噴藥的飄積量測技術和結果之數個研究範例在本文中介紹。地面沈積隨下風距離增加而迅速降低，通常約在下風 20 公尺處沈積變為不到施噴量之 1%。滯空式流量之減少不如地面沈積來的快，但是，除了沈積地面之外，施噴霧粒趨於垂直混合，如此一來當下風距離增加時濃度變低。在主動式滯空式噴霧收集器中的沈積通常在下風 50 到 100 公尺處少於 1%，依噴霧葉面覆蓋情形和風的狀況而定。

緒論

有位農民在麥田中噴施 2,4-D 時，發現有些藥劑霧粒隨風飄移到下風地帶他太太的番茄園中，造成影響，從此引發了噴藥飄積現象的研究題材。過去四十年間，科學家們一直在量測桿式噴藥、空中噴藥、及鼓風式噴藥等設備造成的霧粒飄積現象，並已找出影響飄積的因素。目前的研究則著重於研發降低飄積現象的設備與方法，對此已有不少的學術性及大眾性報導，都偏重於飄積現象的量測與控制。本文蒐集了一些飄積量測實驗的範例，探討露地桿式噴藥機，果園鼓風噴藥機，以及飛機空中噴藥等，但並不涉及揮發後農藥飄積的研究。

本文討論的題材，都是依科學家實驗結果或理論推導而成的專業文獻為本，使我們更能深入了解這些問題。Matthews 與 Hislop 在 1993 年探討農藥噴

灑的各種狀況，包括噴灑霧粒的形成，飄積現象的量測等。Pompe 與 Holtermam 於 1992 年完成 A 桿式氣輔噴藥及果樹與葡萄園鼓風式噴藥農藥撒佈方面文獻回顧，他們都有專章論及噴藥飄積現象。

影響霧粒飄積的因素：

Ozkan 於 1991 年探討桿式噴藥設備控制飄積現象的重要因素；Elliott 與 Wilson 在 1983 年由噴灑殺草劑的觀點解說飄積現象，他們陳述有關霧粒飄積的原理及各項重要因素與大多數噴灑方法相同。本文末頁尚有許多的文獻可供參考。

雖然防風林或擋風牆有助於降低風力對下風方向的地面噴量影響的效應，風速與風向仍是影響噴藥積的因素之一，另一個關鍵因素是霧粒噴灑的高度，氣流極可能將霧粒吹送越過防風林或牆，使霧粒隨著氣流分散得更高。

噴灑霧粒的大小也是一個影響霧粒飄積重要的因素，一般而言，較大的霧粒會落到植株上而不致飛越植株的屏蔽，如果這些大霧粒不曾停留在枝葉上就會很快的墜落地面。會飄積的霧粒（直徑小於 150μm 的霧粒），在墜落地面之前會被飄送較遠的距離，如果環境比較高溫乾燥，甚至會蒸散成為藥劑活性顆粒而飄送得更遠。

1992 年間，Bache 與 Johnstone 推論出霧粒飄送氣流強度作物葉體附著性及其它附著物之間的關係，高溫低溫的空氣會提高霧粒蒸散率而影響其飄積方式，在特定條件下，氣候的穩定性可能成為影響飄積現象的因素，當風速很低，氣溫急速下降的穩態氣候下，霧化的藥液會滯留空中，待氣流一旦出現，作物面上附著藥劑的劑量將會有過量之虞。所以，噴藥操作人員其實扮演著降低飄積現象的關鍵性角色，只要他能適當的調整使用與噴灑設備，並仔細顧及噴藥區週遭的相關地區。

本文的目的是提供有關目前飄積現象量測技術的研究資訊。

量測飄積現象的規範與標準

美國環保署(EPA)規定農藥廠商在商品註冊時必須繳附相關的飄積研究報告，所以特別為農藥廠商設立量測飄積現象的規範，明訂出飄積試驗中霧粒蒐集的方法與位置，俾能使環保署有充分的數據分析其飄積現象。(USEPA，1984 或修訂版)

噴藥飄積特遣組織(Spray Drift Task Force，SDFT 是美國 38 家農藥製造廠商組成的一個團體，專對美國環保署提供飄積試驗數據。該組織進行實驗室，以檢測各種典型的噴灑液劑的物理性質，量測不同噴頭及噴灑特性下的霧粒大小分佈，並從空中、露地，鼓風及 Chemigation 噴灑作業之田間實驗中量測飄積現象。此類研究的目的為顯示飄積現象，並不與依存於農藥的活性，而是與藥劑的物理性質、噴灑方法、環境條件及作物屏蔽狀況有關。這些研究都是在 Good Laboratory Practices (GLP)規範下進行，使實驗數據能符合商品註冊的需求。STDF 的大多數實驗數據皆能與其它科學家的研究結果相吻合，這些數據都須經歷澈底的檢驗與評估，使能符合美國環保署的要求。美國環保署與 STDF 正在發展各種噴藥方式如（空中、露地，鼓風及 Chemigation）的霧粒飄積模式，用以建立噴藥法規及標示說明。

美國農業工程師協會（ASAE）最近於 1998 年建立研究噴灑飄積的標準。此項標準提供了飄積研究中收集器的放置位置及氣象量測等方面的規範。

在德國，其聯邦政府、大學及產業界的科學家，發展出一整套量測露地、果園及飛機噴藥等霧粒飄積研究的草約，這些規範切確載明對沈降式或滯空式噴藥方式的噴藥區域大小，蒐集器的最低數量。一般而言，這些規範指定蒐集器應放在噴藥區域 30 公尺以內（飛機噴藥則是在下風方向 100 公尺以內），超過這些指定的下風距離，就無須放置蒐集器。

Arvidsson 於 1997 年利用田間噴灑設備測試數種量測飄積的方法，評估各種影響因素的重要性，且對桿式噴藥設備的飄積量測建議出一個表標的方法。

噴灑物粒飄積收集器

地面表型收集器（Ground collectors）

沉降型的噴灑藥物粒落到地表時可由平面收集之。如果作物的葉片是被噴灑的目標物，則葉面堪稱最好的收集器。大部分的實驗都由以各稱平滑的板材作為收集器，因為這種材料比葉片還要容易處理。絕大部分的實驗案例中，飄積現象都是在調整的環境中進行量測，用以測試最糟的情況。因此就露地噴藥而言，常用耕犁過的田區或剪短過的草地作為噴灑區域。如此做法的原因是假設一些稀疏的植株本體會有屏蔽作用因而降低噴藥飄積現象。研究結果顯示噴藥區域外側的鉛垂表面上常較水平表面更能收集到較多的霧粒，因此，對沉降式噴藥而言，收集器應盡量平放。近來在噴藥區域內收集藥滴的器具亦可用於收集隨風飄積的霧粒。典型的收集器應包括下列部分：塑膠片、紙片(包括濾紙、阿法纖維質紙、水性或油性試紙、Kromekote card、細繩或線、金屬)或玻璃版、硬盤等。

滯空式噴霧收集器（airborne spray）

粒徑較大的霧滴會在下風方向墜落地面，而大部份用於沈降式噴藥的收集器都可用為此類噴藥的被動式收集器。由於粒徑較大的霧滴會在下風方向墜落地面，而滯空的霧粒都是較小的顆粒。在滯空是噴藥區內，霧粒會隨著氣流的流線飄送開來，並偏離繞過直立式平板收集器等大型磨光物體。通常，在霧粒收集過程中，若收集器的收集面皆同向排列，會有最高的收集功效。尼龍篩網已被用為滯空式噴灑的霧粒收集器，在歐洲，刷管器常被用為收集器，在德國的一些實驗中，塑膠至的刷罐器也被用於此。捲髮器、梳子以及一些有網枝狀的物品皆被試用為霧粒收集器。由於霧粒收集器的效能取決於霧粒大小及速度，當隨風漂浮的噴灑細霧因空氣亂流而不斷改變速度與方向時，要預測霧粒收集器的收集效能就不是那麼容易了。所以，對滯空式噴藥而言，在不同的作業條件下，很難以相互比較其收集器上的附著量，或是訂出收集量的涵義。

主動性霧粒收集器包括旋轉桿(rotorods)，高容量空氣採樣器，個人用空氣採樣器，翼列式衝擊器，靜電式採樣器，以及其他各種粒徑較大的霧滴會在下風方向處墜落地面，而採樣器等儀器以古風積驅使樣本空氣穿過收集器或過濾器藉此吸附霧粒或化學追蹤劑。若欲精準的量測滯空式噴藥，其霧粒收集器對樣本空氣就須有均等的運動特性。也就是說當樣本空氣流過收集器內的過濾設備時採樣器外方區域同時要有相同的風場，目前雖然已有上市販售的產品，但這種收集器很難構建。仔細操作的旋轉桿（rotorods）可視為具有均等運動特

性的儀器。

追蹤劑材料（Tracer materials）

農藥本身的時化學成分應是最好的追蹤劑，然而，若欲分析這些活性成分含量，通常都是所費不貲，且使執行飄積實驗的人員暴露在農藥之中，所以，有很多案例中會用追蹤劑來模擬實際的農藥。一些常用的追蹤劑包括含有銅、鎂等成分的複合金屬製劑、食用色素、螢光劑及鹽水。理想的追蹤劑應是可溶於水，或是至少很容易在水中飄散開來的製劑；應是很容易從收集器上以水或酒精等滌除的材料；也應是乾後可以顯影的材料（如螢光劑），以便觀察霧粒附著的形式；也應是在分析過程中具有穩定性質（例如有些螢光劑可能因日照分解而降低強度），且在低濃度下亦可使用不很貴重的儀器輕易偵測；更應是安全無害人體的。飄積研究中，噴霧沈積在 200 公尺下風處量測，螢光追蹤劑常被使用，因為他們可偵測濃度低到數個單位/十億。然而大部份的螢光劑在陽光下均會分解，這是使用時必須考慮之處。

噴霧大小對噴霧飄積量是一重要因子，同時某些螢光追蹤劑（或其他追蹤劑）之調配可能含有介面活化劑或其他補助物會影響噴出的霧粒分子。所有追蹤劑均應在使用前接受測試以決定其對噴霧、飄積收集器及分析系統的重要特徵。

地面噴桿噴機具田間試驗之飄積量測

許多田間與實驗室的實驗已經建立起來，以量測飄積量與距離和對飄積重要之施噴因子間的關係。這並不是一件易事。有許多大變數包含在施噴沈積，風和大氣穩定狀態及作物葉生遮蓋等。因此，即使許多試驗要求許多沈積的取樣，變數間之統計差異仍難獲得而且定義的關係並不明顯。Bode 等人（1976）報告一系列的實驗利用雙追蹤器之技術來比較在每一趟施噴的兩組噴桿施噴系統。雙施噴系統（二個藥液桶、泵、噴桿等）在目標為地面時，地面與空中施噴的試驗均十分良好。雙系統不太適合果園噴藥，其中空中噴射頭（jet）為噴灑輸送系統之主零件而且目標為垂直面。雙系統允許一個〝標準〞施噴系統用在試驗變數之所有試驗方法。風和其他試驗因子因實驗而異。因此成對施噴系統提供考慮背景便亦之分散分析的可能性。他們利用統計的方法來定義影響施噴飄積沈積的重要因子（由 5 個氣候、4 個施噴系統和 6 個組合）及超過田邊 2.4 公尺之預期沈積，假設施噴田為 400 公尺寬。結果見表 1。明顯影響這些下

風沈積之量測因子為噴桿高度、風、藥液施噴體積及若施噴 400 公尺寬帶，Nalco-Trol 延遲飄積的量最顯著。表中的 F 值代表每個因子的相對差異的量測。噴嘴的形式不包括在統計分析因子中因為沒有做完足夠的試驗。

Maybank 等人（1978）的論文為一系列的飄積文章由這些加拿大的研究者發表。在此研究中，他們量測附掛不同形式噴嘴的噴桿施噴機具及空中施噴於風速自 1 到 10m/s 地面和空中飄積施噴的沈積。表 2 列出他們施噴試驗之一些結果；初始的行寬外沈積為最初下風 5 公尺處的平均地面沈積，初始飄積則為在下風 5 公尺處 0.3 和 3 公尺間的平均空中飄積施噴量。他們也量測在相紙上地面沈積與瀑布狀的撞擊器（cascade impactors）上滯空式沈積的霧滴大小。在表 2 中可明顯看到噴霧在 5 公尺處滯空式較噴寬內地面沈積為多。滯空式之霧粒較行寬上收集的小。

Threadgill 和 Smith（1975）在下風 1 到 8 公尺處的 4 個水平目標和在 0.8 到 5.3 公尺，高於 0.4 公尺棉花的 4 個垂直目標量測限制大小液滴(27,53,100,150, 和 200 μm）之飄積。他們利用統計的分析發現影響下風目標總沈積量的最顯著因子是穩定比（stability ratio）和霧滴大小。他們發現當大氣穩定度增加時，施噴飄積的趨勢及降低。然而這可能和前面文獻之結果衝突，吾們應注意他們是同時量測地面和滯空式之施噴沈積而其他的則僅針對小霧粒的地面沈積做量測。他們對藥液桶內之混合劑並未量測飄積程度之差異。在此篇研究中，增加風速導致較少的飄積，但是總結風速與穩定度十分相關，同時風-速度之影響不能完全分離。

Payne 等人（1988）嘗試在湖邊使用背負式噴霧器（約 50 μm $D_{v0.5}$）施噴 permethrin 時估算所需緩衝區之寬度。他們報告飄積最差的狀況為施噴於輕但不安定的狀態、穩定的邊緣層低、相對濕度高與高氣溫。

Gilber 和 Bell（1988）描述他們發展之一個收集系統用來在一施噴區的下風處量測滯空式施噴和地面沈積。圖 1 為在一風速範圍內不同噴藥系統的預估滯空式施噴之飄積。這些結果是他們建立多年的一系列試驗成果。這個圖提供很好比較，針對滯空式施噴之飄積量來自數種噴桿噴霧系統和一個鼓風系統。

SDTF（1997d）以雙噴桿地面噴藥系統建立田間試驗。當施噴 366 公尺寬

的田間，橫風速為 4.5m/s，大約有 99.9%施噴保留在施噴面積內。

風洞內的霧粒飄積試驗（DRIFT OF DROPLETS IN WIND TUNNEL EXPERIMENTS）

Reichard 等人（1992a，1992b）在風洞中測量恆風速下單一霧滴瞄準下風處之位移，發現這些值幾乎與流動模擬程式中預測的軌跡相同。因此他們即利用此模擬程式計算霧粒位移針對霧粒大小之範圍與初速、釋放高度、風速，及相對濕度。圖 2 係描繪風速對 70 到 120μm 霧粒的平均飄積之預估影響。在這簡化的噴藥系統中，位移距離直接與霧粒落地之時間與風速相關。霧滴位移在麥田區施用殺草劑時可能不是一個大問題，但是當殺蟲劑以單噴頭施用於甘藍菜的行間，0.2m 寬，0.75m 行間距，時即值得考慮了。

圖 3 顯示出提高噴頭噴灑的高度會增加霧粒的位移，在某些情況下，例如固定噴頭，整個噴灑的型態可能成一單元反應，同時在一型態中的單一霧粒可能由外力之影響，如氣流，而被隔離。

由果樹及葡萄園噴藥器具產生之飄積（DRIFT FROM TREE AND VINEYARD SPRAYERS）

飄積測量（Drift measuyments）

從果園和葡萄園使用鼓風式噴藥機量測飄積也是相當困難。定時改變風速與葉片遮蓋的移動導致在收集區沉積的變異相當大。其他關鍵因子導致結果的異有收集器的種類(尤其是用在滯空式噴藥)，追蹤器之使用，噴具操作之狀況，噴灑之行數及作物葉片遮蓋之結構。過去幾年來，數個團體會測量果樹噴藥的飄積；部份結果在此處做摘要說明。Parkin 和 Meritt（1988）討論數種收集飄積樣本的方法之優缺點。他們也回顧碰撞理論和霧粒大小之影響，目標大小和型態與風速在取樣方法之收集效率等。最後他們討論碰撞和霧粒飄積模型並公佈數據來示範說明主要的觀點。Walklate（1989）討論氣象量測由飄積試驗得到，同時展示方程式用來計算相關參數以描述可能影響噴灑飄積的周遭狀況。

MacCollom 等人(1986)用飛機在 6 公尺高的蘋果樹施 Carbaryl 和 Captan，和兩個果園用的鼓風式噴藥機做偏離目標之飄積比較。他們發現空中噴藥較鼓風式噴藥之飄積大而且逆溫比 2%坡度造成的飄積大。下風處量測的地面沈積

量和其他許多研究之比較繪於圖 4。他們量得的沈積較其他研究高出 10 倍。

Rily 和 Wiesner（1990）利用氣助式（air-assisted）噴藥機噴施殺蟲劑於 6 公尺高之果樹量測其偏離目標之損失量。他們量測霧粒沈積在地面上及在空中飄浮之噴藥收集器中的霧粒數目和大小。高達 11 公尺之滾桿（rotorod）和線用來採取在空中飄浮的霧粒。他們發現下風距離增加霧粒大小及數量均極迅速地下降。他們開發出迴歸方程式用來預測由多行噴藥造成之最差情況。測得的地面沈積結果，見圖 4。

Fox 等人（1990，1993a，b，1994）鼓風式噴藥機在蘋果園的外行噴藥，分析下風處地面沉積和在空中飄浮的施藥濃度。他們發現離下風處 61 公尺之地面沉積量為果樹邊的 1/250。下風處 30 公尺以上地面沉積量與沒有果樹或穿過一行果樹之噴灑結果大約相同。超過 61 公尺下風處，依收集器單位面積之沉積量，在空中飄浮之量比地面約多 10 倍。這些有關地面沉積之研究整合於圖 4 中。

Ganzelmeier 等人（1992，1993，1995）發展出量測由田間與果園噴藥機具產生飄積的標準方法。他們報告在季初果園施藥之 32 個試驗與 31 個季尾試驗。這些試驗由數個公司、大學和政府實驗室利用不同果園與噴藥機具建立而成，但使用標準的程序，他們報告地面沉積只到 30 公尺下風處。空中飄浮霧粒以塑膠瓶刷收集，因為有效收集的不定因子如風速，霧粒大小和其他因子的關係，他們無法定義他們的量測結果，所以沒有報告空中飄積量。他們使用 95 % 之信心程度化表飄積之最差狀態的預測。此程序提供最大加權。可能比只用幾個量測於一或二個試驗之極值較能代表整組數據。結果亦見於圖 4。

May 等人（1994）在成熟的蘋果園中以四種噴藥機具施藥，測量下風飄積。所有噴灑同時覆蓋 12 行（5 公尺行距）。依序和累積取樣用在收集空中飄浮量，高度為 2 公尺，地面沉積收集則在離果園 82 及 164 公尺處。一個傳統軸向風扇噴具 3 個塔式噴藥機在此使用。所有 3 個塔式噴藥機產生的空中飄浮均較傳統式少。結果整合與繪於圖 4 中。

曳引機效率、噴灑器具之型式、噴施作業狀況（噴出之霧粒大小、空氣噴嘴特性、行走速度、噴施行數等），從噴施部份果園的大小、風速、大氣壓的

穩定度，收集器的型態及其他因素均被忽略。所有試驗之地面沈積均顯示於說明圖中。

由噴施過的果園之下風處量得的在滯空式之噴灑沈積會於圖 5 中。主動收集器如高體積之空氣取樣器通常比被動式收集器，如細繩、網或繞線等，收到更多的噴施物質。若圖 5 中和圖 4 比較，在滯空式之噴灑在距離增加時，物力減少之趨勢較地面沈積法來的緩和。

Xu 等人（1997）用他們早期開發出來的噴施穿透模式自一行果樹用果園噴藥機具以在滯空式沈積 5m 下風處預測的結果和果園噴灑機具做比較。量測的沈積區與預測的沈積區有合理的吻合。較高的行進速度可降低下風處從果樹行收集的噴灑量。

噴藥飄積特遣組織（Spray Drift Task Force, SDTF）（1998b）建立自果園和葡萄園噴藥產生飄積的延伸測量。這些量測建立於使用 Good Laboratory Practices（GLP），同時可能是目前最佳、最完整的果園噴藥試驗飄積測量組。他們發現大約有 96%的要亦噴施於果園內的最後六行。一如所料，在果園內噴施高的果樹會導致下風處之噴施沈積。他們發現當噴施作業從下風噴施過的 2 行移到 5 行要亦在垂直捲線上減少許多，也就是說，下風處的樹行在噴過的樹叢中充當濾網。

休眠樹的噴施作業（Spraying of dormant trees）

許多果樹之噴藥是當他們是在休眠時。吾們曾量測半矮株有葉子的樹之葉面積指標（LAI）約等於 3 而對休眠期的樹則為 0.6，因此在休眠應用時噴施目標小許多。Herrington 等人（1981）發現在休眠期間噴施沈積之沈積只有 10%在樹上。SDTF（1998b）亦發現對休眠樹噴施和對滿葉樹的噴施比較下，前者之下風沈積大量增加。

Steinke 等人（1992）以軸流（axial flow）和橫流（cross-flow）噴藥機具及直昇機對休眠的杏樹施噴。他們量測在樹枝的沈積、下風飄積和病蟲害控制。他們發現殺蟲劑沈積量和昆蟲之活動有強烈的關係，也就是說，沈積愈多害蟲即愈少。他們量測增加沈積經由果樹用對流噴灑機具和軸流噴灑機及直昇機做比較。下風沈積，地面收集器少於在滯空式之收集器。橫流噴藥機產生最多滯

空式之霧粒量。

Walklate（1992)開發一個隨機遊走大氣擴散模型來預測噴霧移動從一個果園用軸流風扇噴灑器。飄積模擬與量測果業與斷株的飄積吻合。

空中施噴(AERIAL APPLICATION)

Ware 等人（1969b）在苜蓿草上用吹霧機以 28L/ha 施噴和飛機施噴 65L/ha 做比較。他們發現由下風處 50 到 80 公尺之距離，吹霧機在玻璃盤、空氣刷及苜蓿草上產生甲基氧化氯（methoxychlor）之沈積較飛機施噴為多。

Yates 等人（1974）的報告為空中噴藥造成飄積的其中一篇。在這篇報告中，他們在下風處 400 公尺處測得大氣狀態為穩定下比靜止之下施噴多 13 倍以上的沈積量。他們也以產生霧粒之噴頭施噴下，在下風處 800 公尺處收集比大霧粒噴頭施噴下的殘餘輛多 5.5 倍。

Yates 等人比較了地面施噴器具 8003 和有固定翼的低壓變流型噴嘴與直昇機噴嘴集合。在下風少於 91 公尺處，由低壓變流型噴嘴 10KGF 產生的飄積較 8003 噴嘴少 100 倍。使用一個加濃器（thickener）在 8003 噴嘴可減少飄積 1.5 到 2 倍。使用低壓 micro-jet 噴嘴的直昇機所產生之噴藥飄積幾乎與使用變流型噴嘴者一樣低，然而，由使用 jet-type（D-4）噴嘴的直昇機產生之飄積是所有施噴系統中最大的。固定翼的飛機使用 jet-type（D-6）所產生的飄積沈積對下風距離至 122 公尺較 8003 為多。他們用高體積空中取樣過濾器（滯空式施噴）收集到的沈積大約比以 Mylar 試紙在地面收集多 10 倍。

Salyani 和 Cromwell(1992)在柳橙樹叢中以果園噴藥機具，固定翼飛機和直昇機作地面和空中飄積施噴之沉積比較。高、低施噴藥液比率用於果園空中噴藥機具上。果園噴藥機具以低藥比率施噴產生中等之下風位置，最大的滯空式沉積和最少的地面沉積，但是空中和地面施噴之飄積並無明顯的差異。

SDTF(1997a)建立一系列的實驗使用殺蟲劑近蹤器和發現下風沉積量類似其他研究所測得的結果。當施噴在 55 公尺寬的地面上，用 90 種試品，他們發現在施噴面積內施噴的平均沉積容量在橫風 4.5m/s 下為 92%。

美國森林服務處及加拿大有許多施噴分解與沉積的研究。目前至少有兩個商業軟體針對使用飛機作森林施噴與分解之預測，FSCBG 源自 Continuum Dynamics(Bilanin 等人，1989)及由 New Brunswick 的 Picot 建立一個模型(Picot 等人，1986)

總結（SUMMARY）

量測噴灑飄積通常需求許多人員，因為每完成一次施噴試驗就有上百個收集器需要更換。基於在施噴的高度變化與飄積過程，多次重複性是必要的，即使如此仍然很難在試驗樣品間獲得統計上之差異性。因此，試驗之建立十分昂貴，同時很多變數能在過程中改變。數種針對飛機、地面和果園施噴之下風沈積模型正在開發中，應該在未來幾年可以取得。當這些模型正確可獲得時，應該以提供單獨飄積研究的骨架來引導飄積研究。某些變數可用這些模型測試而實際的田間試驗可用來證明有疑問的參數變量。

許多不同的 protocol 被用在飄積試驗。收集器、追蹤器、收集位置、施用過程，和分析技術變化的十分廣。隨歐盟的開發，噴灑器具的標準測試程序，包含量測作物上的沈積和飄積，正在開發中。似乎這將領導世界上包含美國的其他地方標準化。一旦量測飄積的標準方法適用於許多地方，大量的數據應可獲得來定義因更多次要因子如地形、山谷風之影響等之不同。

在回顧許多有關於字不同形式的施噴器具量測飄積的研究後，吾們可以總結其結果如下：地面噴桿施噴機具：總飄積約為施噴量之 5%，在下風的前 10 公尺有一半量落在地面；施噴 90 公尺左右約有 1/10000 地面沉積落到外面。在下風 10 公尺處滯空式流量在 2 公尺高之位置約為同距離的地面沉積量高 2 到 10 倍。要減少施噴百分比在”可飄積”大小的範圍(約小於 100 μm 直徑)可改變噴嘴型式，降低噴嘴壓力，使用輔助物等減少飄積；例如，使用水加入加濃物通常可以在前 10 公尺減少地面沉積至 0.5 到 0.75 的沉積量。降低噴桿的高度亦可減少飄積。

氣象因子：溫度和相對溼度影響霧粒的蒸散速率，這些因子在前 10 公尺可能對沉積不會有太大的影響，但是可能會影響霧粒長範圍之分離。風速是一個重要因子；增加風速可能會增加行寬位移及被帶離行寬的施噴量。無論如何，增加風速可能會在下風的位移行寬內立即降低地面沉積。

由施噴的果樹和葡萄園下風地面沉積隨下風距離增加而迅速減少。超過施噴面積邊緣 30 公尺，地面沉積量通常少於施噴量的 0.3%。滯空式沉積隨下風距離增加而減之量少於地面沉積。自果園邊算超過 30 公尺，滯空式沉積通常少於施噴量的 3 %， 同時空中飄積施噴濃度由地面計至約 10 公尺左右是接近均勻。

空中噴藥導致在 10 公尺內約多 5 到 10 倍的地面沉積，同時滯空式施噴流量較地面噴桿施噴大 5 到 10 倍。鼓風式噴藥機一般而言比飛機施噴有較低的地面沉積和滯空式施噴流量。然而在某特定狀況下，如使用低容積與小霧粒，鼓風式噴藥機具可能比空中施噴多飄積量。此篇回顧包含了施噴超出預定寬度外之動作，但不含考慮如何改變噴藥系統以減少飄積，將改變噴嘴組合、植物覆蓋或施噴的目的、生物的功效等。